云 南 植 物 研 究 2010，32（5）：420～426
Acta Botanica Yunnanica DOI：10.3724/SP.J.1143.2010.10071

温度对铁皮石斛生长及生理特性的影响*

艾 娟[1,2]，严 宁[1]，胡 虹[1**]，李树云[1]
（1 中国科学院昆明植物研究所，云南 昆明 650204；2 中国科学院研究生院，北京 100049）

摘要： 通过不同温度下的控制实验，研究了铁皮石斛光合作用与生长对温度的响应，以期为铁皮石斛的栽培提供理论依据。温度对铁皮石斛的光合速率（P_n）有明显影响，30℃处理的植株具有最高的饱和光合速率（P_{max}），其较高的光合速率与 RuBP 电子传递速率与羧化速率间相对平衡有关。温度对铁皮石斛茎的生长及多糖含量有明显影响，20℃处理的石斛多糖含量显著性的高于其他两个处理，而茎长、茎节数、茎鲜重等则是在 30℃下最高。结果表明，30℃的温度对铁皮石斛的光合作用较为适宜，但在 20℃条件下植株具有更高的多糖含量。

关键词： 铁皮石斛；光合速率；叶片性状；温度；多糖
中图分类号： Q 945 **文献标识码：** A **文章编号：** 0253-2700（2010）05-420-07

Effects of Temperature on the Growth and Physiological Characteristics of *Dendrobium officinale* (Orchidaceae)

AI Juan[1,2], YAN Ning[1], HU Hong[1**], LI Shu-Yun[1]
(1 *Kunming Institute of Botany*, *Chinese Academy of Sciences*, Kunming 650204, China;
2 *Graduate University of Chinese Academy of Sciences*, Beijing 100049, China)

Abstact: In this paper, we studied the response of photosynthesis and growth in *Dendrobium officinale* to temperature under the control experiment to provide a theoretical basis for its cultivation. Temperature had a significant effect on the photosynthetic rate (P_n) of *D. officinale*. The light saturated photosynthesis at ambient CO_2 concentration (P_{max}) of the plants were highest at 30℃. High photosynthetic rate at 30℃ were related to the more balance between the maximum rate of electron transport and maximum rate of RuBP-mediated carboxylation. Moreover temperature also showed a significant effect on the growth and polysaccharide content of *D. officinale*'s stem. The polysaccharide content of *D. officinale* at 20℃ was significantly higher than that at other temperatures, while the stem length, stem node number, stem fresh weight and stem dry weight were achieved the highest point at 30℃. The results showed that, the temperature of 30℃ was more appropriate for the photosynthesis of *D. officinale*, while the plants at 20℃ have higher polysaccharide content.

Key words: *Dendrobium officinale*; Photosynthetic rate; Leaf traits; Temperature; Polysaccharide

铁皮石斛（*Dendrobium officinale*）别名黑节草，是兰科（Orchidaceae）石斛属（*Dendrobium*）植物，主要分布于云南、广西、安徽等地（陈心启和吉占和，1998）。据《本草纲目》记载，铁皮石斛具有“主治伤中、补五脏虚劳、强阴益精、厚肠胃、补内绝不足、平胃气、长肌肉、益智除惊、轻身延年之功效”。近年来，医学研究又发现铁皮石斛具有抗癌和提高人体免疫

* 基金项目：国家自然科学基金（30770225，30870239）；云南省应用基础研究项目（2007C0012）及中科院科技支黔工程项目
** 通讯作者：Author for correspondence；E-mail：Huhong@mail.kib.ac.cn
收稿日期：2010-04-02，2010-07-30 接受发表
作者简介：艾娟（1984－）女，在读硕士研究生，主要从事植物生理生态方面的工作。

力的功能（包雪声等，2001）。

石斛对环境要求严格，大多分布在海拔450～900 m的温凉高湿地带，受小环境内的相对湿度、温度、光照等气候因子影响较大（赵天榜等，1994），铁皮石斛生于疏林中树干上或石灰岩地区岩石上，海拔可达1 600 m（陈心启等，1999）。由于对其生长环境需求不了解，人工栽培困难，长期以来依赖于野生资源。近年来药品生产企业在云南思茅、西双版纳等的大量收购使得野生铁皮石斛资源濒临灭绝，是《濒危野生植物国际贸易公约》的保护物种及我国二级保护濒危植物（姚能昌，2004）。通过人工手段繁殖和栽培铁皮石斛是满足市场需求的主要手段，同时也对保护野生铁皮石斛具重要的意义（邸淑菊，2007），但是由于基础研究的欠缺，制约着栽培技术的提升和完善，如菌根真菌对植株生长的影响、光温对干物质和有效成分积累的影响，更没有针对云南气候条件的综合栽培技术（孙永玉等，2006）。

目前，铁皮石斛的主要人工种植地为云南、浙江、福建、广东等地。相对于其它地区云南夏无酷暑，冬无严寒的气候条件（例如普洱市），江浙及东南沿海地区，则气候四季分明，冬季常有零下低温，而夏季有些地方会出现短暂近40℃高温，尤其是铁皮石斛大多是设施栽培，设施内出现40℃高温的情况更多。经过多年比较，普洱市种植的铁皮石斛产量与浙江、广东、四川等种植地区相比，可增加0.5～1倍左右，每年生长期长达10个多月，采收周期由3年缩短至1年半左右（普洱市委政研室，2008）。

温度是植物地理分布和光合生产力的一个主要的环境决定因素（许大全，2002）。Rawat和Purohit（1991）通过将4种原产地在高海拔（3 600 m）的高山植物移栽至低海拔（550 m）后发现，海拔改变所引起的一系列生态因子如温度的改变影响了植物叶片CO_2的同化速率。温度也是影响石斛光合作用的一个重要因子，徐云鹃等（1993）对霍山石斛的光合特性进行了研究，认为石斛生长在20～25℃的温度为宜。丑敏霞等（2001）研究了不同光照强度下温度对金钗石斛生长的影响，结果表明25℃的平均温度（23～28℃）有利于促进金钗石斛的生长与代谢，是其生长的最适温度。苏文华和张光飞（2003）测定了铁皮石斛叶片一天中CO_2吸收的动态以及CO_2吸收对光强和温度的响应，结果表明铁皮石斛为兼性CAM植物，随着环境条件的变化，其光合作用在景天酸代谢途径（CAM）与C_3途径间变化。

国内外学者对铁皮石斛已进行了许多研究，但主要集中在组织培养与快速繁殖（Zhao等，2007）、栽培技术（郑勇平等，2006）、药材鉴定（Ding等，2003）和化学成分分析（李满飞等，1990）等方面。但是其中温度对于铁皮石斛的生长及生理特性的研究很少，仅在栽培技术方面有所涉及，但研究得并不深入，而关于温度对铁皮石斛物质积累、茎节膨大与品质的影响尚未见有文献报道。

为了探讨温度对铁皮石斛生长及生理特性的影响，本文通过研究铁皮石斛的光合作用和生长对生长温度的响应，以及不同温度下铁皮石斛茎中多糖的含量变化，来确定铁皮石斛生长的适宜温度范围，为铁皮石斛的栽培驯化提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究材料

铁皮石斛种苗购于云南省澄江县农业技术部人工种植基地，为一年生组培苗。将铁皮石斛苗定植于盛装碎树皮、碎砖块、蛭石以及椰壳的花盆中，每盆5株。每3天浇一次水，同时每4天施以自配的含有氮、磷、钾（1∶1∶1）及微量元素的营养液一次。实验时采用铁皮石斛在温度处理期间分蘖产生的新植株进行相关指标的测量。

1.2 研究方法

本实验温度梯度是基于分布地和栽培地的温度设计的，并且为了充分了解温度如何影响铁皮石斛的生长，温度设置上还考虑到了生产中会遇到的极端温度。

1.2.1 试验设计 在人工气候箱（容积：250 L）中分别设置10℃/0℃（T-10）、20℃/10℃（T-20）、30℃/20℃（T-30）、40℃/30℃（T-40）4个温度水平（表1），光照强度为300 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$，光照时间为12 h，

表1 实验设计

Table 1 Experimental design

	T-10 (℃)	T-20 (℃)	T-30 (℃)	T-40 (℃)
8：00-20：00	10	20	30	40
20：00-8：00	0	10	20	30

相对湿度为 60%，处理时间为 120 d。

1.2.2 光响应曲线测定 利用便携式气体交换系统（LI-6400，LiCor Inc. Nebraska. USA）测定不同光照强度下的光合作用速率获得光响应曲线。光响应曲线测定设置 12 个光强梯度（1 200、1 000、800、600、400、300、200、100、50、20 和 0 μmol·m^{-2}·s^{-1}）。光源由 LI-6400 的荧光叶室（6400-40）提供，设置 90∶10 的红蓝光比例，以获得最大的气孔导度。CO_2由内置 CO_2钢瓶提供。测定前，在自然光诱导的基础上，用 300 μmol·m^{-2}·s^{-1}的光诱导 40 min 使光合速率达到稳定状态。测定时，叶室内叶温分别维持在 20°C，CO_2浓度为 380 μmol·mol^{-1}，相对湿度 50%左右，平衡 2～3 min 左右记录读数，每个处理重复 3 次。利用光合助手软件（Photosyn Assistant，V1.1，Dundee Scientific，UK）拟合光合响应曲线，该软件利用的是 Prioul and Chatier (1997) 所描述的二次方程。通过此方程可计算饱和光合速率（P_{max}）、表观量子产率（AQE）、暗呼吸速率（R_d）。

1.2.3 CO_2响应曲线的测定 通过 LI-6400 测定不同 CO_2浓度下的光合速率，可以得到 CO_2响应曲线。测定前，在自然光诱导的基础上，用光强为 300 μmol·m^{-2}·s^{-1}的光诱导 40 min，促使气孔开放。测定时，叶室内叶温维持在 20℃，光照强度为 300 μmol·m^{-2}·s^{-1}，相对湿度 50%左右。设置 12 个 CO_2浓度梯度（0、50、100、200、300、400、600、800、1 000、1 200、1 500 和 1 800 μmol·mol^{-1}），开始时，先确定 380 μmol·mol^{-1}的光合速率，然后将 CO_2浓度逐渐降低到 0 μmol·mol^{-1}，再升到 1 800 μmol·mol^{-1}。每一浓度平衡 2～3 min 记录读数，每个处理重复 3 次。通过光合助手软件（Photosyn Assistant，V1.1，Dundee Scientific，UK）的 Mechanistic A/Ci curve analysis 拟合 CO_2响应曲线，并计算相关参数：Rubisco 最大羧化速率（V_{max}）、最大电子传递效率（J_{max}）及磷酸丙糖利用率（TPU）。此方程利用的是 Caemmerer and Farquhar (1981) 的生化方程。

1.2.4 叶片特性的测定 光合作用测定完成后，将植株挖出进行叶性状的测定。采用称纸称重法（冯东霞和施锦生，2005）（每株取三片叶）计算叶面积后将叶片放入 80℃烘箱烘烤 48 h，使其达到恒重，根据叶面积和干重计算出比叶重（LMA，g·m^{-2}）。将烘干的叶片粉碎，云南大学分析测试中心测定单位叶面积叶片氮含量（LNC_a），并计算氮利用效率 NUE（NUE = P_{max}/LNC_a）。

在光合作用测定完成后，用打孔器（0.33 cm^2）在相应植株上打取 10 个圆片，放入装有 3 ml 二甲基甲酰胺（N，N-Diemethylformamide）的 10 ml 容量瓶中，置于黑暗中提取色素 4～7 d，然后用紫外分光光度计 UV-2550（Shimadzu，Japan）测定 664.5 和 647 nm 的吸光值。每个处理重复 3 株。按 Inskeep and Bloom (1986) 的方法计算叶绿素含量，计算公式化为：chla = $12.70A_{664.5} - 2.79A_{647}$，chlb = $20.70\ A_{647} - 4.62\ A_{664.5}$。

1.2.5 茎性状的测定 在光合作用测定完成后将植株挖出，在测量完茎长、茎粗及茎鲜重后把茎放入 80℃烘箱烘烤 48 h，使其达到恒重。称量完茎干重之后将其磨成粉末，最后测定茎多糖含量。

1.2.6 数据分析 所有数据都是使用统计软件 SPSS 16.0 for Windows（SPSS Inc.，Chicago，USA）进行分析，不同处理间（内）的差异比较采用单因素方差分析（AVOVA）和 LSD 检验。所有统计图用 SigmaPlot 10.0 for windows（Systat SoftwareInc.，Chicago，USA）绘制。

2 结果

2.1 温度对铁皮石斛光合作用的影响

T-10 处理由于温度低，生长缓慢，在进行光合测量时还没有长出新株，所以 T-10 处理的植株没有进行光合测量。其他三个温度处理的叶片光合对光强的响应趋势基本一致（图 1），但是 T-30 处理植株具有最高的饱和光合速率 P_{max}。在 T-20、T-30、T-40 三个温度处理中，P_n分别在光强超过 202、218、141 μmol·m^{-2}·s^{-1}时达到饱和，且随光合有效辐射（PAR）的增加没有发生 P_n降低的现象。表观量子效率（AQE）在不同温度间没有显著差异（表 2）。

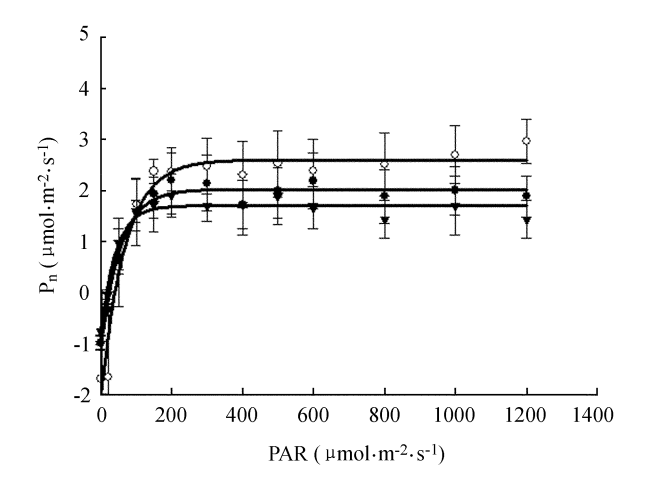


图 1 不同温度下铁皮石斛（T-20，●-●；T-30，○-○；T-40，▼-▼）的光合作用对光照强度的响应，误差条表示 3 次测量的标准误

Fig. 1 Photosynthetic responses of *Dendrobium officinale* to photosynthetic active radiation (PAR) at different temperatures (T-20，●-●；T-30，○-○；T-40，▼-▼). Each point is a mean of three measurements, vertical bar represents ±1 SE

表2　3 个温度处理条件下铁皮石斛的光合参数

Table 2　The photosynthetic parameters of *Dendrobium officinale* at three temperatures

	温度梯度 Temperature gradient		
	T-20	T-30	T-40
P_{max}	1.937±0.486a	2.475±0.546a	1.619±0.412a
AQE	0.034±0.011a	0.051±0.010a	0.035±0.009a
LSP	201.64±21.79a	218.14±46.078a	140.93±7.724a
LCP	26.7±4.8a	35.70±16.579a	18.32±5.883a
gs	0.022±0.007a	0.032±0.002a	0.026±0.008a
V_{cmax}	13.47±3.907a	10.09±1.768a	10.47±2.192a
J_{max}	54.67±17.901a	28.87±5.456a	29.33±10.682a
J_{max}/V_{cmax}	4.07±0.412a	2.85±0.109ab	2.60±0.523b

P_{max}：大气 CO_2浓度下光饱和同化速率（$\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$）；AQE：表观量子效率（mol CO_2 mol^{-1} photon）；LSP：光饱和点（$\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$）；LCP：光补偿点（$\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$）；gs：气孔导度（$mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$）；$V_{cmax}$：RuBP 饱和最大羧化速率（$\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$）；$J_{max}$：光饱和最大电子传递速率（$\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$）；$J_{max}/V_{cmax}$：光饱和最大电子传递速率/ RuBP 饱和最大羧化速率。表中数据为平均值±标准误（n=3），同一行数据，右侧有不同字母者表示处理间具有显著性差异（$P \leq 0.05$）。

P_{max}: light saturated photosynthesis at ambient CO_2 concentration; AQE: apparent quantum efficiency; LSP: light saturation point; LCP: light compensation point; gs: stomatal conductance; V_{cmax}: maximum rate of RuBP-mediated carboxylation; J_{max}: maximum rate of carboxyylation limited by electron transport; J_{max}/V_{cmax}: ratio of maximum rate of carboxyylation limited by electron transport to RuBP-mediated carboxylation. Data represent the means ±SE (n=3). In the same row, significant difference with different letters ($P \leq 0.05$).

2.2　不同温度下铁皮石斛的光合作用效率

三个温度处理下的铁皮石斛的光饱和点（LSP）、光补偿点（LCP）与饱和光合速率表现出一致的趋势（表 1）：T-30 最高，T-20 次之，T-40 最低。gs 为 T-30 最高，T-40 次之，T-20 最低，但是不同处理间没有显著性差异。T-20 处理的 V_{cmax}与 J_{max}大于其他两个处理，但是不同处理间也没有显著性差异，而 J_{max}/V_{cmax}的值则随着温度的增高而降低了，且 T-40 的 J_{max}/V_{cmax}值显著低于 T-20 处理。

2.3　不同温度下铁皮石斛的叶片特征

随着处理温度的升高，*Chl* a 和 *Chl* b 的含量减少，导致了叶绿素总量的降低以及 *Chl* a：b 值的降低，但是这种影响并没有达到显著性差异的水平。叶片的比叶重（LMA）是以 T-20 为最高，T-30 次之，T-40 最低，而叶片氮含量（LNC_a）是 T-30 处理显著低于其他两个处理。叶面积（LA）则是 T-30 处理显著高于其他两个处理，光合氮利用效率（NUE）是 T-30 处理最高，且显著高于其他两个处理（表 3）。

表3　3 个温度处理条件下铁皮石斛的叶片特征

Table 3　The leaf characteristics of *Dendrobium officinale* at three temperatures

	温度梯度 Temperature gradient		
	T-20	T-30	T-40
Chl a	32.867±3.886a	24.323±0.633a	23.526±3.964a
Chl b	13.132±1.005a	10.533±0.288a	10.526±1.274a
Chl a+b	45.986±4.885a	34.846±0.921a	34.0426±5.234a
Chl a：b	2.488±0.104a	2.309±0.004a	2.211±0.099a
LMA	38.187±1.652a	25.543±0.852a	24.923±7.929a
LNC_a	4.674±0.153a	2.875±0.2360b	5.525±0.3720a
LA	4.736±0.042b	8.196±0.229a	4.842±0.268b
NUE	0.421±0.114b	0.843±0.144a	0.322±0.098b

chl a：单位叶面积叶绿素 a 含量（$g \cdot cm^{-2}$）；*chl* b：单位叶面积叶绿素 b 含量（$g \cdot cm^{-2}$）；*chl* a+b：单位叶面积叶绿素 a+b 含量（$g \cdot cm^{-2}$）；*chl* a：b：叶绿素 a 与 b 的比值；LMA：比叶重（$g \cdot m^{-2}$）；LNC_a：单位叶面积叶片氮含量（g）；LA：叶面积（cm^2）；NUE：光合氮利用效率（mol CO_2 $g^{-1} \cdot N^{-1}$）。表中数据为平均值±标准误（n=3），同一行数据，右侧有不同字母者表示处理间具有显著性差异（$P \leq 0.05$）。

Chl a: chlorophyll a content per unit area; *Chl* b: chlorophyll b content per unit area; *Chl* a+b: total chlorophyll content per unit area; *Chl* a: b: the ratio of *Chl* a to *Chl* b; LMA: leaf mass per unit area; LNC_a: leaf nitrogen content per unit area; LA: leaf area; NUE: photosynthetic nitrogen use efficiency. Data represent the means ±SE (n=3). In the same row, significant difference with different letters ($P \leq 0.05$).

2.4 不同温度下铁皮石斛茎的特征

茎长、茎节数、茎干重与茎鲜重随处理温度变化的趋势相似，其中以 T-30 最高，T-40 次之，T-20 最低，而且除了茎干重及茎粗之外，其余指标 T-30 处理都显著性高于 T-20 处理（表4）。

3 讨论

一个物种对环境的适应性直接或间接的与其光合水平的适应性有关，反之，光合特性又影响叶片的生化和生理过程（Pearcy，1977）。温度是植物地理分布和光合生产力的一个主要的环境因素。温度变化不仅影响许多生物化学过程，而且也影响植物体内的物质扩散等过程（许大全，2002）。

叶片气孔导度（gs）和核酮糖-1，5-二磷酸羧化酶/加氧酶（Rubisco）的活性以及其再生能力（Farquhar 等，1980；Mott，1990）是影响光合作用的主要生理生化因素。核酮糖-1，5-二磷酸羧化酶/加氧酶（Rubisco）的数量及活性与最大羧化速率（V_{cmax}）呈紧密正相关（Farquhar and Von，1982）；核酮糖-1，5-二磷酸羧化酶/加氧酶（Rubisco）的再生能力与最大电子传递速率（J_{max}）正相关。本研究中，J_{max}/V_{cmax}的值随温度增高而降低（表 2），这与 Medlyn 等（2002）的研究结果一致。3 个处理中 30℃处理的植株具有最高的 P_{max}，随后是 20℃和 40℃处理。这可能是由于铁皮石斛在较高温度（40℃）下光合速率受到 J_{max}的限制，而在较低温度下（20℃）则受到 V_{cmax}的限制，在 30℃的条件下 J_{max}与 V_{cmax}相对平衡（Orgen，1993），所以铁皮石斛的 P_{max}较高。虽然 P_{max}与 gs 之间极显著正相关（$P<0.01$），但是各处理间的 gs 不存在显著性差异（表 2），说明 gs 对铁皮石斛的 P_{max}影响不大。

叶片是植物进行光合作用的主要器官，叶片性状（如 LMA、LA、LNC_a、叶绿素等）直接影响到叶片的基本行为和功能。叶氮含量与叶片光合能力密切相关，这是因为绝大部分的叶氮分配给了光合机构中的蛋白质（Evans，1989）。本研究中，NUE 与 LNC_a之间呈极显著负相关（$P<0.01$），而与 P_{max}极显著正相关（$P<0.01$）。这说明温度能够影响叶片 N 含量，但由于温度光合作用的限制，即使叶片中有较高的氮含量，也不能提高光合能力。对 P_{max}产生不利影响的因素也同样对 NUE 产生了相同的影响，所以 NUE 与 P_{max}极显著正相关（$P<0.01$）。NUE 与 LNC_a负相关的关系也被 Hivose and Werger（1994）报道过。叶片比叶重（LMA）作为一个重要的叶片性状，它与光合作用的关系已经被许多人研究过。一些研究表明 LMA 对 P_{max}有明显影响（Hesketh 等，1981；Hobbs，1988），但也有例外（Brinkman and Frey，1978）。本研究没有发现 LMA 与 P_{max}之间有相关关系，这与 Heichel and Musgrave（1969）在玉米中的发现相似。另一方面，Hobbs（1988）在对油菜品种的研究中表明二者存在正相关关系；El-Sharkavy 等（1956）在棉花中发现二者呈负相关。尽管三个处理在叶绿素含量方面并没有显著差异，即它们的捕光能力不存在显著差异，但是 T-30 处理的 P_{max}和 AQE 最高，因此 30℃处理下的植株对光能的利用力最强。

表4 3个温度处理条件下铁皮石斛茎的特征

Table 4 The stem characteristics of *Dendrobium officinale* under three temperature conditions

	温度梯度 Temperature gradient		
	T-20	T-30	T-40
茎长 stem length（cm）	7.1±0.436b	14.667±0.578a	11.067±1.834ab
茎节数 stem node numbers	4.333±0.333b	9.666±0.333a	9.333±1.202a
平均茎长 average stem length（cm）	1.643±0.536a	1.520±0.065a	1.173±0.070b
茎粗 stem thickness（cm）	1.3±0.058a	1.333±0.088a	1.433±0.088a
茎干重 dry weight of stem（g）	0.097±0.008a	0.102±0.006a	0.099±0.022a
茎鲜重 fresh weight of stem（g）	0.71±0.106b	1.3±0.150a	1.007±0.144ab
多糖含量 polysaccharide content（%）	8.263±0.007a	4.00±0.004b	3.467±0.002b

表中数据为平均值±标准误（n=3），同一行数据，右侧有不同字母者表示处理间具有显著性差异（$P\leqslant0.05$）。

Data represent the means ± SE（n=3）. In the same row, significant difference with different letters（$P\leqslant0.05$）.

铁皮石斛以茎入药，可溶性多糖是石斛的药用成分之一，同时也与石斛的生理活性有一定的关系（李满飞等，1990）。从表 3 可以看出铁皮石斛在茎长、茎节数、茎干重与茎鲜重方面都表现出了类似的趋势，其中以 T-30 最高，T-40 次之，T-20 最低，而且除了茎干重及茎粗之外，其余指标 T-30 处理都显著高于 T-20 处理。由于细胞分裂最旺盛生长需要大量的热量，最适于细胞分裂的温度为 30℃（蒋高明，2004），因此 T-30 处理在茎长与茎鲜重等方面要显著高于温度较低的 T-20 处理。而在铁皮石斛的主要药用成分多糖的含量方面则是 T-20 显著高于其它两个处理。许多研究发现，在低温胁迫下，植物的呼吸作用在一定温度范围内随着温度的下降而下降（林梅馨和杨汉金，1994），而植物体内呼吸作用的底物—可溶性糖的含量显著增加（王孝宣等，1998），这有利于糖分的积累和对不良环境的抵抗（刘祖琪和张石城，1994）。本文的研究结果说明在 T-30 处理条件下铁皮石斛的光合产物大部分被用于形态学方面的生长，而在 T-20 处理条件下，铁皮石斛的光合产物则更多地用于植株茎可溶性多糖成分的累积。

综上所述，温度对铁皮石斛的产量和质量都产生了明显的影响。T-30 处理下铁皮石斛对光能的利用力最强，合成的光合产物更多的用于植株形态学方面的生长，如增加叶面积，茎节数及茎长度等。在 T-20 处理下，铁皮石斛的多糖含量显著高于其他处理，也说明这个处理的条件更适合于铁皮石斛多糖含量的积累，但是此处理下铁皮石斛植株的叶面积较小，茎长、茎节数及茎鲜重都显著小于 T-30 处理下的植株。在 T-10 处理条件下，铁皮石斛因为受到低温胁迫，直接影响了植株的光合作用以及新株的产生。而 T-40 处理因为温度太高，使得植株呼吸作用加剧，消耗了过多的光合产物，同时高温可能破坏光合作用器官，特别是对高温敏感的光合系统Ⅱ，导致光合系统Ⅱ可逆或不可逆的破坏（Braun 等，2002），因此也不适宜于铁皮石斛的生长及多糖积累。在人工种植栽培中，为了兼顾产量和药用成分多糖含量，因此可以确定铁皮石斛适宜的生长温度为日温 25～30℃，夜温 15～20℃。本研究结果从温度的角度解释了为什么铁皮石斛在浙江等地种植采收的时间远长于云南思茅（普洱）。

〔参　考　文　献〕

包雪声，顾庆生，陈立钻，2001. 中国药用石斛［M］. 上海：上海医科大学出版社，复旦大学出版社，1—49

刘祖琪，张石城，1994. 植物抗性生理学［M］. 北京：中国农业出版社，**14**：43—44

许大全，2002. 光合作用效率［M］. 上海：上海科学技术出版社，40

陈心启，吉占和，1998. 中国兰花全书［M］. 北京：中国林业出版社，153

陈心启，吉占和，罗毅波，1999. 中国野生兰科植物彩色图鉴［M］. 北京：科学出版社，184

邸淑菊，2007. 铁皮石斛产业化的调查研究［J］. 安徽农学通报，**13**（11）：137—138

蒋高明，2004. 植物生理生态学［M］. 北京：高等教育出版社，152

普洱市委政研室，2008. 普洱市石斛产业发展情况调研报告［EB/OL］. http://www.pejc.gov.cn/viewInfo.asp? id=762

Braun V，Buchner O，Neuner G，2002. Thermotolerance of photosynthesisⅡ of three alpine plant species under filed conditions［J］. *Photosynthetica*，**40**：587—595

Brinkman MA，Frey WJ，1978. Flag leaf physiological analysis of oat isolines that differ in grain yield from their recurrent parents［J］. *Crop Science*，**18**：67—73

Caemmerer SV，Farquhar GD，1981. Some relationships between the biochemistry of photosynthesis and the gas exchange rates of leaves［J］. *Planta*，**153**：376—387

Chou MX（丑敏霞），Zhu LQ（朱利泉），Zhang YJ（张玉进）*et al*.，2001. Effect of light intensities and temperatures on growth of *Dendrobium Mobile* Lindl［J］. *Acta Phytoecologica Sinica*（植物生态学报），**25**（3）：325—330

Ding XY，Wang ZT，Zhou KY *et al*.，2003. Allele-specific primers for diagnostic PCR authentication of *Dendrobium officinale*［J］. *Planta Medica*，**69**（6）：587—588

El-Sharkawy M，Hesketh JD，Muramoto H，1965. Leaf photosynthetic rates and other growth characteristics among 26 species of *Gossypium*［J］. *Crop Science*，**5**：173—175

Evans JR，1989. Photosynthesis and nitrogen relationships in leaves of C3 plants［J］. *Oecologia*，**78**：9—19

Farquhar GD，Von CS，1982. Modeling of photosynthetic response to environmental conditions［J］. *Encyclopedia of Plant Physiology*，**12B**：549—587

Farquhar GD，Von CS，Berry JA，1980. A biochemical model of photosynthetic CO_2 assimilation in leaves of C_3 species［J］. *Planta*，**149**：78—90

Feng DX（冯冬霞），Shi JS（施锦生），2005. Research on night measurement methods of leaf area［J］. *Chinese Agricultur-*

al Science Bulletin (农业基础科学), **21** (6): 150—155

Heichel GH, Musgrave RB, 1969. Varietal differences in net photosynthesis of *Zea mays* L. [J]. *Crop Science*, **9**: 483—486

Hesketh JD, Ogren WL, Hageman ME *et al*., 1981. Correlations among leaf CO_2 exchange rates, areas and enzyme activities among soybean cultivars [J]. *Photosynthesis Research*, **2**: 21—30

Hirose T, Werger MJA, 1994. Photosynthetic capacity and nitrogen partitioning among species in the canopy of a herbaceous plant community [J]. *Oecologia*, **100**: 203—212

Hobbs SLA, 1988. Genetic variability in photosynthesis and other leaf characters in *Brassica* [J]. *Photosynthetica*, **22** (3): 388—393

Inskeep WP, Bloom PR, 1985. Extinction coefficients of chlorophyll a and b in N, N-Dimethylformamide and 80% acetone [J]. *Plant Physiology*, **77**: 483—485

Li MF (李满飞), Xu GJ (徐国钧), Y. Hirata (平田义正) *et al*., 1990. Quantitative analysis of polysaccharides in Chinese Drug Shi-hu (*Dendrobium* sp.) [J]. *Chinese Traditional and Herbal Drugs* (中草药), **21** (10): 10—12

Lin MX (林梅馨), Yang HJ (杨金汉), 1994. Physiological response of *Hevea brasiliensis* during the chilling injury [J]. *Chinese Journal of Tropical Crops* (热带作物学报), **15** (2): 7—11

Medlyn BE, Dreyer E, Ellsworth D *et al*., 2002. Temperature response of parameters of a biochemically based model of photosynthesis. Ⅱ. A review of experimental data [J]. *Plant, Cell and Environment*, **25**: 1167—1179

Mott KA, 1990. Sensing of atmospheric CO_2 by plants [J]. *Plant, Cell and Environment*, **13**: 731—737

Ogren E, 1993. Convexity of the photosynthetic light-response curves in relation to intensity and direction of light during growth [J]. *Plant Physiology*, **101**: 1013—1019

Pearcy RW, 1977. Acclimation of photosynthetic and respiratory carbon dioxide exchange to growth temperature in *Atriplex lentiformis* (Torr.) Wats [J]. *Plant Physiology*, **59**: 795—799

Rawat AS, Purohit AN, 1991. CO_2 and water exchange in four alpine herbs at altitudes and under varying light and temperature conditions [J]. *Photosynthesis Research*, **28**: 99—108

Su WH (苏文华), Zhang GF (张光飞), 2003. The photosynthesis pathway in leaves of *Dendrobium officinale* [J]. *Acta Phytoecologica Sinica* (植物生态学报), **27** (5): 631—637

Sun YY (孙永玉), Li K (李昆), Li CR (李成荣) *et al*., 2006. Current situation and development countermeasures of *Dendrobium* spp. industry for medicinal purpose of Yunnan Province [J]. *Forest Inventory and Planting* (林业调查规划), **5**: 45—47

Wang XX (王孝宣), Li SD (李树德), Dong HR (东慧如) *et al*., 1998. The Correlationship of cold-tolerance with ABA, soluble sugar and respiratory intensity in tomato [J]. *Acta Horticulturae Sinica* (园艺学报), **25** (1): 56—50

Xu YC (徐云鹃), Yu LW (于力文), Wu QS (吴庆生) *et al*., 1993. Photosynthetic characteristics of three species of *Dendrobium* in Huoshan country of Anhui Province [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **4** (1): 18—21

Yao NC (姚能昌), 2004. Status quo of *Dendrobium* sp. resource in Yunnan and utilization skills [J]. *Forest Inventory and Planning* (林业调查规划), **29** (4): 80—82

Zhao P, Wang W, Feng FS *et al*., 2007. High-frequency shoot regeneration through transverse thin cell layer culture in *Dendrobium* wall Ex Lindl [J]. *Plant Cell, Tissue, and Organ Culture*, **90**: 131—139

Zhao TB (赵天榜), Cheng ZX (陈志秀), Yang XG (杨献国) *et al*., 1994. Development and utilization of *Dendrobium* plants in Henan Province [J]. *Areal Research and Development* (地域研究与开发), **13** (2): 59—61

Zheng YP (郑勇平), Wang C (王春), Yu JY (俞继英) *et al*., 2006. Techniques on the transplantation of *Dendrobium officinale* tube plantlets [J]. *Forestry Science and Technology Information* (林业科技开发), **20** (6): 56—58